



Munich Personal RePEc Archive

# Irreversibility and uncertainty of the financial investments on r&d

Martín Ezequiel Masci

Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires

30. June 2012

Online at <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/40970/>

MPRA Paper No. 40970, posted 31. August 2012 20:18 UTC



*Facultad de Ciencias Económicas*  
*Universidad de Buenos Aires*



## **Irreversibilidad e incertidumbre de las inversiones financieras en I&D**

**Masci Martín Ezequiel**

**[martinmasci@economicas.uba.ar](mailto:martinmasci@economicas.uba.ar)**

## **INDICE GENERAL**

RESUMEN .....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
1. TÉCNICAS TRADICIONALES DE VALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	6
1.1. Proyectos de inversión .....	7
1.2. Criterio del Valor Actual Neto (VAN) .....	8
1.3. Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	10
1.4. Tasa de retorno contable y Período de recuperación de la inversión .....	11
2. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (I&D): Incentivos a invertir .....	12
2.1. Innovación y sustentabilidad .....	14
2.2. Irreversibilidad de las inversiones.....	15
2.3. Tratamiento de la Incertidumbre .....	16
2.4. Flexibilidad financiera .....	17
2.5. Investigación y Desarrollo en el mercado financiero .....	19
3. OPCIONES REALES.....	21
3.1. Opciones financieras: <i>call</i> y <i>put</i> .....	21
3.2. Variables relevantes de las opciones financieras en proyectos I&D .....	24
3.3. Métodos de valuación de opciones: Fórmula de Black & Scholes.....	26
3.4. Opciones Reales: Espera y Abandono .....	29
3.5. Expandir y contraer .....	31
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFIA .....	34

## **Irreversibilidad e incertidumbre de las decisiones financieras en I&D \***

### **RESUMEN**

Los métodos tradicionales de valuación de inversiones se basan en la posibilidad de calcular flujos de caja descontados. El presente trabajo analiza la problemática asociada a las inversiones en productos innovadores, con alto requerimiento de Investigación y Desarrollo (I&D). Éstas presentan características de irreversibilidad, flexibilidad e incertidumbre. Se propone la metodología de Opciones Reales.

Para llevarlo a cabo, se realiza una descripción de los procesos de investigación y su relación con el mercado financiero con el objeto de trabajar sobre la irreversibilidad y las posibilidades de flexibilizar un proyecto. Finalmente, se recorren los métodos de valuación, haciendo foco en la fórmula de Black & Scholes para considerar las opciones de esperar, abandonar, expandir y suspender.

Debe tenerse en cuenta que el criterio nombrado anteriormente no sustituye a las técnicas tradicionales de valuación (en especial el VAN) sino que se incorpora con el fin de tratar adecuadamente el contexto en cuestión.

Palabras claves: Investigación y Desarrollo, Opciones Reales, incertidumbre, Black & Scholes.

♣ Quiero agradecer en esta oportunidad al Dr. Javier García Fronti, por su enseñanza y motivación permanente. Asimismo, al Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos aplicados a la Economía y la Gestión (CMA) dirigido por la Dra. Ma. Teresa Casparri, donde me permiten desarrollar mis inquietudes en materia de investigación. En especial los consejos de R. Darío Bacchini y Miguel A. Fusco. También quiero agradecer a Rocío Ferreiro y Gonzalo García, quienes me acompañaron en el proceso de investigación. Finalmente, quiero agradecerle a mi hermana Camila por su formidable capacidad literaria, su inagotable paciencia y constante apoyo.

## **Irreversibility and uncertainty of the financial investments on R&D**

### **ABSTRACT**

The traditional methods for the valuation of investments are based on the possibility of calculating discount cash flows. The present paper analyses the problem associated to investments on innovative products, which require an important demand of R&D. The mentioned investments present irreversibility, flexibility and uncertainty characteristics. Therefore, it is proposed the Real Options methodology.

To carry it out, investigations processes and their relationship with the financial market are described, with the aim of dealing with the irreversibility and the possibilities of making flexible a project. Finally, the different valuation methods are reviewed, focusing on the Black & Scholes formula to consider the options to wait, abandon, expand and suspend.

It is necessary to take into account that the mentioned criteria does not replace the traditional valuation methods (especially NPV), but it should be incorporated to them, to appropriately treat the current context.

**Keywords:** Research and Development, Real Options, uncertainty, Black & Scholes.

## **INTRODUCCIÓN**

Las inversiones y el sistema financiero en la economía mundial se tornan cada vez más importantes y juega un rol fundamental la evolución tecnológica en los procesos de financierización. El presente trabajo tiene como motivación vincular dos cuestiones: la teoría financiera tradicional y los procesos de investigación y desarrollo (I&D) desde una perspectiva económica. La metodología elegida es la consideración de elementos teóricos y la prueba de la consistencia lógica de los mismos, mediante herramientas matemáticas. El objetivo general es analizar las ventajas de aplicar la metodología de opciones reales para la valuación de proyectos de inversión bajo incertidumbre. La valuación tiene que contemplar un tratamiento de la irreversibilidad financiera y la posibilidad de flexibilizar o alterar el desenvolvimiento de un plan de negocio.

En este marco, la hipótesis general es que los criterios tradicionales de valuación de proyectos de inversión (VAN y TIR, entre otros) poseen limitaciones para captar la naturaleza de la incertidumbre y flexibilidad. Incorporar el criterio de opciones reales permite alcanzar el nivel de análisis deseado para tomar decisiones de inversión asociadas a proyectos en I&D. La decisión de inversión debe ser estratégica. La correcta determinación del criterio de valuación permite adoptar un rol activo por parte del inversor, pudiendo flexibilizar su decisión durante el transcurso del proyecto (opción de expandir o contraer, opción de esperar, opción de retirarse, entre otras).

El trabajo se estructura en tres capítulos. El primero revisa las técnicas tradicionales de valuación de proyectos de inversión, respondiendo al objetivo específico de estudiarlos para encontrar ventajas y desventajas en su estructura teórica y aplicación. Asimismo, se introducen las características económicas de una unidad productiva -empresa- y la necesidad de incluir en su estructura proyectos de inversión. La hipótesis para el esquema es que los criterios tradicionales de valuación tienen una fuerte dependencia con las condiciones del proyecto que se desea evaluar y es necesario contar con el flujo de fondos proyectados.

El segundo capítulo analiza la importancia de las inversiones en I&D. El objetivo en este caso es realizar una correcta descripción de las características principales de los proyectos de inversión asociados a la innovación tecnológica. Se pretende determinar si dichos proyectos se articulan en el marco de las decisiones tradicionales de inversión y evaluar la dinámica necesaria para flexibilizar un proyecto de inversión en un determinado período de tiempo. Para ello se realiza una descripción de los incentivos e impactos de las innovaciones y la sustentabilidad en las empresas. Luego, tres secciones donde se introducen los aspectos teóricos de la irreversibilidad, incertidumbre y flexibilidad financiera. Se expone un ejemplo para introducir la opción de esperar en la valuación mediante el criterio del VAN. La

hipótesis a considerar es que los proyectos relacionados con I&D poseen características que los distinguen de los proyectos tradicionales debido a la presencia de incertidumbre. El carácter innovador de los proyectos en I&D hace necesario que se analice el riesgo contemplando la posibilidad de flexibilizar la inversión.

El tercer capítulo profundiza sobre la teoría de las opciones reales. Para ello se trabaja sobre las opciones financieras de compra y venta. Se desea mostrar que las mismas pueden ser semejantes a proyectos de inversión. El objetivo es demostrar que se puede optimizar la decisión con el uso de éstas opciones, mejorando el criterio del VAN. Se tiene en cuenta que la metodología teórica adoptada implica analizar los distintos métodos de valuación. Para simplificar el análisis se propone considerar opciones cuyo valor teórico se obtiene mediante la fórmula de Black & Scholes. La hipótesis es que la metodología de opciones reales permite mejorar la toma de decisiones de inversión al tiempo que incentiva a los agentes financieros a considerar proyectos novedosos.

Finalmente, se exponen las conclusiones que se fueron obteniendo en cada capítulo para mostrar cómo se abordaron los distintos objetivos específicos. Asimismo, se enfatizan los resultados de contrastar las hipótesis mencionadas y las oportunidades de desarrollar investigaciones en el futuro.

## **1. TÉCNICAS TRADICIONALES DE VALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN**

A lo largo de la evolución de la economía y las finanzas, en el modo de producción capitalista, se persiguen objetivos relacionados con el beneficio individual. Por fuera de las actividades productivas se genera una motivación en los individuos a destinar todo o una parte de su reserva monetaria (o riqueza) para financiar proyectos de inversión. Más allá del interés en la actividad que se va a desarrollar con dichos fondos, seguramente el mayor incentivo deviene de la posibilidad de incrementar su *stock* de riqueza mediante el rendimiento de las inversiones. Se busca crear portafolios eficientes compuestos por distintas inversiones reales o financieras. Estos sucede no sólo a niveles individuales, sino también en niveles corporativos (Brealey y Myers, 2005).

Una firma o empresa que se encuentra inserta en el mercado de bienes y servicios tiene como objetivo la sustentabilidad económica y financiera (Gereffi et al., 2005; Da Souza, 2010). Cotejar un ambiente de negocios propicio no puede desconocer el hecho de que la firma se comporta racionalmente y optimiza -maximizando los ingresos, minimizando los costos-. Más allá de esta visión, las unidades productivas toman decisiones para afectar su sendero de crecimiento -adaptándose a los cambios tecnológicos que se presentan en el

mercado-. Se llevan a cabo mecanismos de competencia por satisfacer a nuevas y renovadas fuentes de demanda.

En este escenario se conjugan las expectativas de crecimiento y las distintas formas de adaptación de las firmas a la evolución de las condiciones de mercado. Se deben determinar financieramente los costos ciertos y contingentes asociados a dicha evolución. En este sentido cobra importancia la *investigación y el desarrollo* de técnicas, procesos, productos, diseños, estrategias y un sinnúmero de innovaciones científicas.

En las secciones que siguen se exponen las características generales de un proyecto de inversión. Luego, se muestran las técnicas tradicionales de valuación de dichas inversiones.

### **1.1. Proyectos de inversión**

Los proyectos de inversión son generalmente un conjunto de actividades que se desarrollan dentro de un ámbito económico particular y responden a un objetivo. Se espera que el desarrollo de las actividades genere más valor que el necesario para llevarlas a cabo y con esto realizar una ganancia o rendimiento para los inversores. La motivación por parte del inversor es inherente a las condiciones en que se desenvuelve el proyecto. Dichas condiciones tienen dos apreciaciones distintas. La primera es hacia adentro del proyecto, es decir, la programación de actividades en los tiempos establecidos y con el costo estimado. Por ejemplo, al tratarse de un proyecto de inversión para la construcción de un edificio de viviendas se deben tener en cuenta los plazos y costos. Las diversas actividades no se pueden llevar a cabo en un orden indistinto ya que en la mayoría de los casos se requiere que un proceso esté terminado para empezar con otro. No es coherente colocar el revestimiento de los pisos si no está terminada la instalación de tuberías y cableado completo, por ejemplo. Dichas actividades tienen costos económicos y al diagramarlas correctamente se puede evitar incurrir en pérdidas innecesarias. La rentabilidad de un proyecto de inversión está dada justamente por el diferencial entre costos y precio de las viviendas terminadas. El costo se puede reducir de acuerdo a la cantidad de materiales necesarios y opera el principio de economías de escala. Dado el valor del terreno, mano de obra y otros costos relativamente fijos, es más conveniente realizar un edificio alto (con más cantidad de unidades para la venta). El precio de los departamentos se determina, en muchos casos, por la ley de oferta y demanda del mercado inmobiliario. Normalmente dicho precio es superior al costo de construcción.

La segunda forma de atracción de inversores tiene que ver con el contexto en el que se desarrolla el proyecto. El inversor tendrá en cuenta el costo de oportunidad de invertir en ciertos proyectos reales, comparándolo con el mercado financiero (compra de acciones o títulos). Esta consideración se detalla a lo largo del trabajo.



Cualquiera sea la motivación, el proyecto tiene que poseer ciertas características que permitan al inversor decidir racionalmente si le conviene colocar capital. Cuanto más complejo y confuso sea el proyecto, más difícil es ponerlo a consideración. Los ejemplos más sencillos se estructuran especificando la inversión inicial requerida, el tiempo de inmovilización de dicho capital y la forma y cuantía del rendimiento. La decisión es al inicio del proyecto y no puede ser modificada. Invertir hoy o nunca.

Ahora bien, ¿cómo forma dicha decisión? ¿Qué elementos tiene en cuenta para llevar a cabo la decisión de inversión que más le conviene? En las siguientes secciones se intentarán responder estas preguntas y otras que irán surgiendo. Para empezar es necesario recorrer los conceptos básicos que forman las técnicas tradicionales que generan los criterios para llevar a cabo una decisión racional, destinando fondos a un proyecto de inversión nuevo o continuar uno ya comenzado.

Entre los métodos más usuales se encuentran: la regla del Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), tasa de retorno contable (*book rate of return*) y el período de recuperación de la inversión (*payback period*). Cada uno de los métodos posee características particulares y presentan ventajas y desventajas para su implementación como criterios de decisión.

## 1.2. Criterio del Valor Actual Neto (VAN)

Esta metodología de valuación de proyectos de inversión probablemente es la más utilizada por los inversores. La misma consiste en determinar el Valor Actual (VA) de un proyecto y compararlo con la inversión inicial. Para determinar el VA de un proyecto se debe obtener el valor presente de los flujos de caja futuros que generará el proyecto. Esto implica que al momento de realizar una inversión se espera que la misma genere ingresos futuros, que al final del proyecto superen la inversión inicial. Se pone de manifiesto aquí un principio financiero elemental que determina que el valor del dinero hoy es mayor al de mañana, por la posibilidad de invertir y obtener beneficios futuros. Como se busca el valor presente de un flujo a futuro, es necesario actualizar los montos con una tasa de descuento. Se utiliza la siguiente fórmula de VA:

$$VA = \frac{C_1}{1 + r_1} + \frac{C_2}{(1 + r_2)^2} + \frac{C_3}{(1 + r_3)^3} + \dots + \frac{C_n}{(1 + r_n)^n}$$

De manera equivalente, en su expresión como sumatoria:

$$VA = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r_t)^t}$$

Cualquiera sea la fórmula que se utilice, la misma representa el Flujo de Caja Descontado (FCD), donde  $C_1, C_2, \dots, C_n$  representan los ingresos futuros, actualizados a valor presente por una determinada tasa de descuento  $r_1, r_2, \dots, r_n$ . La forma en que se determina la tasa es una de las primeras cuestiones que se debe tener en cuenta. La misma tiene detrás la mecánica de funcionamiento del mercado financiero, que en definitiva es el encargado de fijar las tasas, acordes a la interacción entre la oferta y demanda, como así también del riesgo asociado. Un correcto tratamiento del riesgo -como la percepción del mismo por parte del agente- conforma un conjunto de aspectos muy interesantes de analizar. Asimismo, y desde una perspectiva más económica, la tasa de descuento se relaciona con el costo de oportunidad del capital, dado que la misma puede ser comparada en diversos proyectos o con alguna tasa libre de riesgo y determinar así el precio que está dispuesto a pagar un agente por invertir en un proyecto o colocar ese capital en cualquier bono soberano tipo *risk-free*.

Con los conceptos antes expuestos, se puede profundizar un poco más en la determinación de la metodología planteada. Como se expuso, el VAN considera los FCD y los compara con la inversión inicial necesaria para llevar a cabo el proyecto. Por lo tanto la fórmula del VAN es la siguiente:

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1+r_1} + \frac{C_2}{(1+r_2)^2} + \frac{C_3}{(1+r_3)^3} + \dots + \frac{C_n}{(1+r_n)^n} = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r_t)^t}$$

Si el VAN es positivo, entonces el VA es mayor al costo inicial ( $C_0$ ), que se asume en valor negativo. De esta manera el criterio se desprende de la condición lógica que plantea la lectura de la ecuación. Un inversor decidirá colocar sus fondos en un proyecto, en tanto el valor actual neto sea positivo, o al menos no negativo. Cuanto más grande sea el VAN, mayor es el incentivo para invertir. Adicionalmente, este método permite comparar distintos proyectos en función del VAN de cada uno, dado que dichos valores están expresados en valores presentes. Naturalmente, son susceptibles de ser comparados proyectos con igual naturaleza riesgosa, puesto que se supone que se pueden estimar los flujos futuros.

El libro de Brealey y Myers (2005), destaca aspectos interesantes del criterio mencionado, que se desprenden de los conceptos desarrollados. Entre ellos, el hecho de que es posible

sumar dos proyectos distintos, de manera que el VAN de la suma de dos proyectos es equivalente a la suma de los VAN de cada proyecto. Ésta última implicancia es interesante debido a que el inversor puede observar que el VAN de su inversión es mayor a cero, pero descubrir que está compuesto por un proyecto con VAN negativo y otro positivo (mayor al negativo). El resultado final es positivo, pero si descompone el proyecto evitando invertir en el que posee VAN negativo, puede obtener una rentabilidad mayor. Como se verá, esta bondad no la poseen otros criterios de valuación.

### 1.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR proporciona una herramienta para la toma de decisiones con implicancias similares a la propuesta del VAN. Teóricamente, la Tasa Interna de Retorno se define como aquella que reduce a cero el VAN de un proyecto. La razón por la que se utiliza este criterio, nuevamente se relaciona con la formulación matemática del mismo:

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1 + TIR} + \frac{C_2}{(1 + TIR)^2} + \frac{C_3}{(1 + TIR)^3} + \dots + \frac{C_n}{(1 + TIR)^n} = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + TIR)^t}$$

Si la expresión expuesta admite que el VAN es nulo, entonces tiene sentido despejar un valor para la TIR. Sin embargo, dada la complejidad de la sucesión geométrica que se desarrolla para  $T$  períodos, normalmente la tasa de retorno se calcula a prueba y error. En la bibliografía tradicional es usual ver que se utilizan diversos programas de computadora que estiman el valor mediante el uso de algún algoritmo y desarrollan algún gráfico para exponer de manera visual las bandas entre las cuales debe estar dicha tasa para hacer viable un proyecto.

Supongamos, por ejemplo, un proyecto con inversión inicial de \$ 2.000,- que genera flujos de caja en dos período por las sumas de \$ 1.500,- y \$ 1.700,- respectivamente. Aplicando la fórmula:

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1 + TIR} + \frac{C_2}{(1 + TIR)^2} = -2000 + \frac{1500}{1 + TIR} + \frac{1700}{(1 + TIR)^2}$$

Probando distintas tasas, se llega a la conclusión que la TIR se encuentra en un valor cercano al 37%:

$$TIR = 36\% \rightarrow VAN = -2000 + \frac{1500}{1.36} + \frac{1700}{(1.36)^2} = 22.0588$$

$$TIR = 37\% \rightarrow \boxed{VAN = -2000 + \frac{1500}{1.37} + \frac{1700}{(1.37)^2} = 0.6394}$$

$$TIR = 38\% \rightarrow VAN = -2000 + \frac{1500}{1.38} + \frac{1700}{(1.38)^2} = -20.3739$$

El criterio, de esta manera, consiste en aceptar un proyecto siempre que el costo de oportunidad del capital sea menor al TIR. Esto es así debido a la relación que guarda el VAN con la tasa de capitalización -en este caso, la TIR-, lo que sugiere que se adopta implícitamente el criterio del VAN pero observando sólo la tasa. Este hecho puede introducir algunos inconvenientes asociados a las magnitudes positivas y negativas de capital (prestar o endeudarse) en proyectos donde no existe TIR, porque siempre el VAN es positivo. Lo mismo sucede en aquellos donde existen múltiples TIR, no todas convenientes. Por estos motivos es usualmente utilizado para proyectos cortos con bajos requerimientos de inversión inicial.

De cualquier modo, la regla de decisión sigue resumiéndose en una comparación que lleva detrás el costo de oportunidad del capital, dado que el flujo futuro descontado equivalente a la inversión inicial, no sería racional invertir en un proyecto con tasa de rendimiento igual o inferior al mercado financiero con riesgo comparable menor. Siempre que la tasa de retorno sea mayor a la ofrecida en el mercado de capitales (acciones o bonos, por ejemplo), la decisión es invertir en ese proyecto.

#### 1.4. Tasa de retorno contable y Período de recuperación de la inversión

Adicionalmente al las técnicas de valuación mencionadas, existen otros dos criterios bien diferenciados.

El criterio del beneficio contable, permite al inversor valerse de la información que brindan los estados contables de una firma y con ello calcular un índice de rentabilidad como la ratio entre el beneficio contable y el valor contable de la inversión. En otras palabras, es la forma análoga de considerar el VAN y ponderarlo por el valor cierto de la inversión. La primera cuestión está relacionada con los inconvenientes de tratar los ingresos y gastos mediante instrumentos contables que muchas veces difieren del valor de los flujos reales de caja<sup>1</sup>. Si bien este hecho puede conducir a importantes errores de estimación, existe consenso en que la rentabilidad contable es una medida muy consultada por inversores tanto internos como externos a las firmas. La principal diferencia con las medidas de valuación financiera

<sup>1</sup> Existen muchos casos de lo que se conoce como “contabilidad creativa”. La literatura tradicional al respecto muestra que puede manifestarse cuando las motivaciones de los accionistas difieren de las de los gerentes o *managers* de las firmas. Conforman el típico problema del principal-agente de la teoría microeconómica.

se encuentran en la determinación de los gastos y las amortizaciones, basadas en principios de prudencia contable. De esta manera se ponen de manifiesto ciertas subjetividades relacionadas con la asignación de partidas contables. Por ejemplo, considerar algunas erogaciones como gastos netos y otras como activos susceptibles de ser amortizados, donde la velocidad de amortización se puede ajustar a las necesidades del empresario.

El criterio del período de recuperación es definido como el tiempo (en años) que es necesario para que los flujos de caja previstos igualen a la inversión inicial. Como puntualiza el libro de Brealey y Myers (2005) este método posee dos problemas, que lo diferencian del criterio del VAN. El primero es que no considera los flujos de caja posteriores al momento de corte. Es decir, si un inversor considera que es necesario invertir en proyectos cuyo período de recuperación del capital es de dos años, desestimaré cualquier proyecto que supere ese tiempo, aún así que el tiempo superado sea de algunos meses y que en dicho período se obtengan beneficios mayores que en los anteriores años. Segundo, pondera de igual forma a los flujos de caja generados antes de la fecha de corte. Esto hace que no se valore más el presente que el futuro, sino que para este criterio, se consideran igual de importantes los flujos de caja de cualquier momento dentro del período considerado. Una solución a este problema es considerar los flujos de caja descontados, lo que se acerca un poco más al criterio del VAN, pero sigue sin solucionar el problema de no considerar los flujos posteriores al corte.

## **2. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (I&D): Incentivos a invertir**

En el capítulo anterior se introdujo la idea de empresa como organismo productivo que busca mejorar cualitativa y cuantitativamente su estructura económica. Reviste importancia la determinación de criterios para la toma de decisiones de inversión. El proceso de búsqueda de alternativas interesantes puede ser asimilable a un proceso de investigación. Los procesos de investigación son actividades creativas que permiten identificar focos problemáticos y emprender un plan de acción para solucionarlos. La posibilidad de solucionar problemas le otorga al proceso de investigación un carácter interesante para la firma, pues fácilmente puede traducir esa solución a un beneficio monetario. Por ejemplo, una nueva forma de publicidad implicará un costo financiero, que luego será retribuido por un aumento en la demanda, para el caso que sea exitoso el programa. Pero la valuación de dicho programa tendrá que contemplar los diversos escenarios, tratando de solucionar problemas actuales y hacia el *futuro*. Como se verá más adelante esto posee las características de un proyecto de inversión y por lo tanto se debe encontrar una estrategia

para evaluarlo. Según la OECD (2002) existen tres actividades en un proceso de investigación: ciencia básica, ciencia aplicada y desarrollo experimental. La primera hace referencia a un trabajo experimental para la búsqueda de nuevos conocimientos. La ciencia aplicada es, a su vez, un tipo de investigación novedosa pero enfocada a un objetivo particular. Finalmente, el desarrollo experimental implica un trabajo sistemático basado en conocimiento preexistente. En ciertas áreas que involucran innovación tecnológica, el desarrollo experimental es importante para someter a pruebas el producto novedoso.

En el contexto descrito se suscitan diversas cuestiones interesantes para ser analizadas. En primer lugar, es destacable el hecho de que la eficiencia de las industrias está determinada por las decisiones al interior de las firmas en relación con el contexto macroeconómico. Dichas decisiones pueden provenir de una política desde el directorio o bien de un *staff* de apoyo encargado de realizar investigaciones. La segunda cuestión es que el desarrollo de un programa de investigación implica costos. La viabilidad de un proyecto se somete a reglas financieras. Por otro lado, el contexto de incertidumbre sobre el futuro hace que las decisiones financieras se vean afectadas por la dificultad de estimar el flujo de ingresos a futuro o el valor del activo que se genere al final del proyecto. Este argumento se sostendrá a lo largo del presente trabajo y es motivador del uso de opciones reales, como se verá en el capítulo tres.

Adicionalmente, existe otra determinación importante que hace al rol que ocupa el inversor en proyectos de I&D. No resulta prudente considerar indistintamente un inversor privado externo a la firma innovadora, de otro al interior de la firma que toma decisiones desde el directorio. Considerar a un inversor externo a la firma implica pensar la inversión como el portafolio eficiente de un agente que dispone de fondos y desea diversificar riesgos, optimizando la rentabilidad de sus inversiones. A dicho agente probablemente le interese poco el uso de sus fondos o los resultados de la innovación, por fuera del rendimiento económico. En otras palabras, con su cartera financiera intentará producir el mayor ingreso, minimizando el costo y tratando al riesgo como un factor importante en dicha determinación. Los incentivos privados son claramente diferentes de aquellos que tratan a la inversión como la posibilidad de lograr un crecimiento sustentable de la empresa a la que pertenecen. Atraer a un inversor externo tiene que cotejar el costo de oportunidad del capital y ser lo suficientemente atractivo como para que el individuo se someta al escenario incierto<sup>2</sup>. En el presente trabajo se toma en cuenta la diferenciación entre individuo inversor y firma. Sin embargo, se pretende hacer una exposición de las características generales que tienen las

---

<sup>2</sup> Se conforma, nuevamente, un problema de agencia entre los accionistas y el directorio de una firma. Los accionistas sólo buscan mejorar sus dividendos, mientras que el directorio piensa en el desarrollo de la capacidad productiva. Los objetivos no siempre están alineados, por diferencias en la percepción del riesgo o determinaciones temporales (políticas a corto, mediano y largo plazo).

inversiones para explorar su tratamiento y ver la adaptación de los procesos de investigación mediante técnicas financieras. En ese sentido no cobra carácter excluyente ninguna de las dos posturas.

A continuación se presentan algunas consideraciones interesantes respecto de la sustentabilidad de las firmas y cómo las innovaciones ayudan a generar mayor dinámica. En las próximas tres secciones, se exponen las causas de la irreversibilidad financiera para dar lugar a contextos de incertidumbre y la necesidad de cambiar el rumbo de la inversión, flexibilizándola. Todo ello considerando la pertinencia de los proyectos de I&D en el mercado financiero.

## 2.1. Innovación y sustentabilidad

La sustentabilidad es una necesidad básica de cualquier firma para subsistir en el mercado. Paulo Da Souza (2010) identifica tres áreas donde el comportamiento de las unidades productivas tiene que ser acorde: impacto medioambiental, social y económico.

En el primero, se puede identificar claramente un incentivo a llevar a cabo una determinada producción con el menor daño posible al medio ambiente (*environmentally friendly*). La mayoría de los países desarrollados tienen en cuenta que los procesos productivos generan algún tipo de contaminación que daña la salud del medio y de la población. Este impacto es no deseado, aunque muchas veces no se incorpore como un costo en las funciones de producción. Una empresa que genere mucha contaminación atenta contra su propia subsistencia y por lo tanto no es sustentable. La innovación en procesos puede generar una disminución en la externalidad negativa y al mismo tiempo no afectar el atractivo de las inversiones. Si se considera a la contaminación como un costo, la mitigación los reducirá y hará aumentar el beneficio de las firmas.

En lo que respecta al impacto social, es importante tener en cuenta el rol de una empresa en la sociedad. “La pobreza e inequidad en muchos países, a pesar de su desarrollo económico, son desafíos críticos para el desarrollo sustentable y la estabilidad de la región”<sup>3</sup>. Pensar en términos del alcance de las actividades de una firma implica considerar los efectos sobre la demanda. La difusión de información mediante canales que impulsan el desarrollo de climas de negocio. Las innovaciones en lazos sociales de información y comunicación permiten alcanzar beneficios derivados de las externalidades positivas de una sociedad más demandante.

---

<sup>3</sup> “Poverty and inequity in many countries, despite strong economic development, are critical challenges for sustainable development and region stability”. Traducción propia del texto original. De Souza, P. (2010). *Innovation in industrial Research*. CSIRO. Australia. Pp 113-15.

El plano económico, es quizá el más sencillo de justificar. Existen muchas razones por las cuales innovar es económicamente productivo o conveniente. La búsqueda de nuevos procesos, productos o mercados hace que se avance hacia mejoras en los alcances de la producción o el *market-share* de una firma. En el extremo, dicha búsqueda puede culminar en el descubrimiento de un producto nuevo, es decir, en el nacimiento de un nuevo mercado. Es importante considerar que un mercado con firmas innovadoras le imprime una dinámica que posibilita una mejora en los estándares de calidad. Si bien es cierto que el descubrimiento de nuevas tecnologías deja obsoleta a las anteriores, en términos económicos –y científicos- implica una evolución deseable. En la literatura tradicional de políticas industriales es usual el desarrollo de modelos que explican comportamientos estratégicos de las firmas en contextos de innovación vertical (Aghion & Griffith, 2005). En esa competencia por la innovación se crea una “escalera de calidad” donde los productos a lo largo del tiempo evolucionan mediante más y mejor tecnología. Se experimenta un efecto de creación destructora, según la visión schumpeteriana. Un ejemplo sencillo es la evolución de los aparatos televisores, desde su versión con tubos de rayos catódicos hasta las actuales pantallas de cristal líquido, retroiluminadas por LED.

Los incentivos por captar nuevos nichos de mercado -y con esto mejor posicionamiento de las firmas y más volumen de demanda-, posibilita la inversión en proyectos de investigación. Los impactos en las esferas mencionadas sólo proporcionan motivos por los cuales la innovación es importante. Pero para que las firmas deseen colocar capitales en dichos proyectos, los mismos deben ser financieramente convenientes. A continuación se analizarán algunos aspectos que serán interesantes para el inversor a la hora de aceptar o rechazar un plan.

## **2.2. Irreversibilidad de las inversiones**

En esta sección -y las dos siguientes- se exponen los conceptos elementales asociados con decisiones de inversión. El análisis no pretende ser exhaustivo, sino simplemente introducir algunas consideraciones que luego se desarrollarán más profundamente cuando se aborde la incorporación de opciones reales en la valuación de proyectos.

La irreversibilidad de una inversión se define como la imposibilidad de retirar el capital una vez iniciado el proyecto. No es posible “desinvertir” y recuperar la suma inicial. En términos económicos dicha suma representa un costo hundido. Por ejemplo, en la construcción de una represa hidroeléctrica si la rentabilidad del proyecto no resultó acorde a la inversión que se realizó, no es posible venderla ya que la misma no posee un valor de mercado *per se*, siempre estará sujeta a la actividad productiva energética. No considerar la implicancia de la irreversibilidad de las inversiones puede llevar al inversor a tomar decisiones equivocadas.



Por otro lado, el esquema general de costos es importante. Como se expuso al principio de este capítulo, el simple hecho de realizar investigaciones de mercado acarrea costos. De manera que la irreversibilidad no se presenta únicamente en una visión de un costo inicial real (en un activo físico) sino que tiene que ver con la estructura de negocios que se intenta llevar a cabo. En un sentido amplio cobran importancia las características de la firma en cuestión, dado que no se ve afectada de igual manera una empresa instalada en el mercado que desea ampliar su poder o captar nuevos horizontes económicos que aquella que inicia sus actividades. En ambos casos la investigación de mercado se presenta como la primera alternativa para generar un proyecto tecnológico, de ahí la importancia de I&D en la consideración de inversiones financieras.

Normalmente el carácter irreversible de las inversiones aumenta en industrias de uso intensivo del capital (tales como las empresas de acero o mineras, dónde el uso del factor mano de obra es bajo). La irreversibilidad también se puede dar en forma parcial. Los equipos de oficina, vehículos, computadoras, etc., pueden ser objeto de venta en el mercado una vez que se ha invertido en ellos, sin embargo, su valor de reventa en forma general se encuentra muy por debajo de su costo inicial. Esto refuerza la idea que no necesariamente es una inversión inicial alta y en un activo particular.

La irreversibilidad hace que las inversiones de capital sean especialmente sensibles a varias formas de riesgo, por ejemplo, la incertidumbre sobre los precios futuros, o los costos operativos que, en conjunto, determinan los flujos de caja futuros. Incertidumbre con respecto a agregados, como las tasas de interés, y aspectos, como el costo y momento oportuno de invertir, pueden también generar volatilidad. El correcto tratamiento de la incertidumbre es esencial en la determinación de las condiciones en que se desenvuelven los proyectos de inversión. A continuación se trata ese aspecto.

### **2.3. Tratamiento de la Incertidumbre**

El contexto incierto en el que se desenvuelven los proyectos de inversión requiere especial atención. Si la vida se desenvolviese en condiciones deterministas, toda causa tendría indefectiblemente el mismo efecto en las condiciones establecidas. La incertidumbre financiera se manifiesta en la volatilidad del retorno futuro de una inversión. El pronóstico sobre el futuro puede ser visto desde la perspectiva *keynesiana*, donde no hay certezas ni posibilidad de conjeturar escenarios teóricos, pero en la literatura financiera se intenta modelizar del algún modo el comportamiento de las variables. El tercer capítulo de este trabajo es sobre opciones reales y se verá que la incertidumbre es quien motiva el uso de dichas opciones como complementarias al criterio del VAN para valuar inversiones. Como se expuso, este criterio no capta correctamente el contexto incierto.

Al desconocer cómo se comportará el futuro se pueden realizar conjeturas. Dichas aproximaciones teóricas no son otra cosa que modelos de comportamiento. El pasado y presente temporal tienen cierta incidencia en el futuro, pero el mundo no aparenta tener características determinísticas. Por lo tanto, tendrán que usarse criterios probabilísticos para inferir y pronosticar el movimiento de las variables que se estén considerando. Normalmente esta cuestión se trabaja desde la aplicación de procesos *estocásticos* (Dixit & Pindyck, 1994; Hull, 2006; Longstaff & Schwartz, 2001; Lin, 2006). Un proceso estocástico requiere de la implementación de variables aleatorias sujetas a una determinada función de distribución de probabilidad<sup>4</sup>.

La volatilidad es una característica relevante cuando se consideran ciertas variables que son observables en el presente, pero no se puede predecir el comportamiento a futuro. El precio de ciertos activos financieros, como las acciones, pueden comportarse en condiciones de relativa estabilidad (parsimonia) o en constante fluctuaciones. Para el inversor será más valiosa una acción que sea menos volátil, porque el rendimiento es predecible<sup>5</sup>.

Dependiendo de la variable que se considere, la naturaleza de la incertidumbre es distinta y por lo tanto su tratamiento difiere. El desconocimiento puede darse sobre el valor inicial de un proyecto determinado. Distinto es el caso de la incertidumbre asociada a la tasa de interés que rige el rendimiento de la inversión. En esta última se puede ver la dificultad por establecer el costo de oportunidad de la inversión.

En la sección siguiente se trabaja sobre la flexibilidad financiera y se expone un ejemplo que resulta útil para considerar las cuestiones relacionadas con la irreversibilidad e incertidumbre.

## 2.4. Flexibilidad financiera

Esta sección introduce el concepto de *opciones* para flexibilizar una decisión de inversión, es decir, cambiar el rumbo de la misma. Se va a considerar el criterio del VAN para simular un escenario, tal como lo hacen Dixit & Pindyck (1994). El ejemplo a seguir será el de un proyecto que tiene un valor inicial (representa el valor de la inversión  $I$ ) y que al momento de empezar el precio de la producción es un monto cierto ( $P_0$ ). Para este análisis es importante

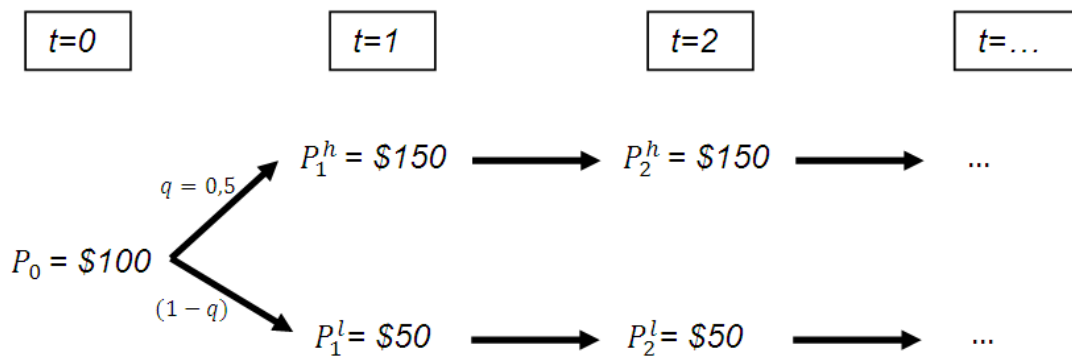
---

<sup>4</sup> No es el objetivo del presente trabajo ahondar en las determinaciones de dichos procesos. Se deben desarrollar los conceptos relacionados con procesos de Wiener, para entender cómo se comporta un proceso *browniano*. Luego se pueden generalizar los procesos llegando a la consideración del Lema de Ito. Una lectura recomendada es Dixit & Pindyck (1994), *Investment under uncertainty*, págs. 60-92.

<sup>5</sup> Aquí se puede discutir la aseveración. El hecho de valorar la parsimonia en el precio de una acción responde a las ventajas para estimar el flujo de caja futuro y poder descontarlo a una tasa cierta. Pero un agente neutral o amante al riesgo puede preferir la volatilidad, dado que compra y vende aprovechando las fluctuaciones y obtiene mayor rendimiento por el *spread*.

tener en cuenta que más allá de considerar problemas de decisión en tiempo continuo, los ejemplos se trabajan en algunos puntos discretos del tiempo. Para el caso, consideramos que el precio del *output* al momento inicial es un dato y que en los momentos siguientes  $(1, 2, \dots, n)$  existe la posibilidad de que suba o baje. Dicha posibilidad se expresa en una probabilidad  $q$  asociada a un escenario de alza y la complementaria  $(1 - q)$  que suceda lo contrario. El diagrama siguiente resume la situación con un ejemplo numérico:

Diagrama 1: Ejemplo de proyecto de inversión



Fuente: Elaboración propia basada en Dixit & Pindyck (1994:27)

Nótese que la esperanza matemática en cada período del precio sigue siendo \$100, dado que la probabilidad es 0,5 de que suceda uno u otro escenario<sup>6</sup>. Si se considera una tasa de interés  $r = 10\%$  correspondiente al mercado libre de riesgo, el cálculo del valor actual neto es:

$$VAN = -I + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{E(P_t)}{(1+r)^t} = -500 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{100}{(1,1)^t} = -500 + 1100 = 600$$

Según el criterio desarrollado en el primer capítulo, el VAN positivo se interpreta como una posibilidad favorable para invertir. Ahora bien, ¿está bien expuesto este ejemplo? El hecho de que exista una probabilidad asociada a la ocurrencia de dos determinaciones económicas distintas se debe tener en cuenta para calcular el VAN de un proyecto.

De esta manera, es necesario calcular el VAN en  $[t = 1]$  para considerar la *opción de esperar*. Esta opción contempla el costo de oportunidad del capital en el mismo proyecto. No es necesario pensar en un mercado de capitales *free-risk* con el cual comparar el VAN y

<sup>6</sup> La esperanza del precio se define como una combinación convexa de los precios alto y bajo, ponderados por la probabilidad de ocurrencia respectiva:

$$E(P_t) = q * P_t^h + (1 - q) * P_t^l$$

decidir si invertir allí o en nuestro ejemplo. El costo de oportunidad en situaciones de incertidumbre acerca del precio futuro es muy importante cuando se debe tomar una decisión.

Para el caso, al tomar la opción de esperar sólo se invierte en el proyecto si al momento uno el precio subió  $[P_1^h]$ . Asociado a la probabilidad  $q$ , el  $VAN^h$  indica el valor actual neto del escenario de alto precios:

$$VAN^h = q * \left[ \frac{-I}{1+r} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{P_t^h}{(1+r)^t} \right] = 0,5 * \left[ \frac{-500}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{150}{(1,1)^t} \right] = \frac{0,50 * (1150)}{1,1} \cong 523$$

Con la incorporación de la opción de esperar y la irreversibilidad se muestra más eficientemente el costo de oportunidad de invertir. En muchos problemas más complejos la determinación de ésta opción y el costo inicial no alcanzan para contemplar todas las estrategias y con ello formar una decisión óptima.

Para terminar con el ejemplo, se puede pensar en el costo de flexibilizar la opción. Es decir, tratar de establecer una relación entre el VAN del precio esperado y el que se calculó en función de esperar un período. Si se procede a restar ambas expresiones se obtiene el monto que estará dispuesto a pagar por una oportunidad de inversión en la que se puede tomar la opción de esperar. Para el ejemplo, la diferencia arroja una suma negativa<sup>7</sup> lo que implica que la decisión de esperar no es deseable. La consideración del VAN positivo inicial es suficiente para formar la decisión. La explicación es sencilla: dado los precios especificados y la magnitud de la inversión inicial, la rentabilidad del proyecto es muy alta. Si se considera un monto de inversión mucho más alto, supongamos el doble, el VAN arroja un valor de \$100 y el VAN con la opción de aproximadamente \$296. La inversión más grande comprende un costo hundido (irreversible) que hace valiosa la opción de flexibilizar la inversión.

## 2.5. Investigación y Desarrollo en el mercado financiero

El caso estudiado en la sección anterior resulta importante para articular la idea de incorporar en las decisiones de inversión de los agentes económicos al mercado de I&D. Tal como se expuso en las secciones anteriores, los proyectos de investigación asociados con innovación poseen las características necesarias para desenvolverse en contextos de incertidumbre y riesgo. La incertidumbre pasa por el hecho de que una vez que se tiene la

<sup>7</sup> Se calcula el VAN con la opción menos el de invertir al momento inicial:  
 $VAN^h - VAN = 523 - 600 = -77$

idea que da origen al proceso de investigación no es posible asegurar que el resultado sea un producto valorado en el mercado. Necesariamente se debe tomar el riesgo de fracasar en el intento por conseguir resultados novedosos y no puede evitarse incurrir en costos. Más aún, el activo (ya sea tangible o intelectual) puede no resultar lo suficientemente valorado como para cubrir los costos en los que se incurrió para su descubrimiento.

En este contexto juegan un papel muy importante las opciones financieras. La posibilidad de flexibilizar la opción, incorporando este costo al criterio de decisión, le otorga al inversor una herramienta muy útil. Principalmente se pueden ver dos ventajas: la relacionada con el proyecto riesgoso y la relacionada con el objetivo del inversor.

Lo que atañe al proyecto de inversión, como se muestra en el ejemplo anterior, contemplar la opción de flexibilizar le otorga al proyecto mayor atractivo. El inversor adverso al riesgo desea tener la opción de esperar, expandir, contraer o retirarse cuando le parezca oportuno. El tratamiento financiero de estas opciones, como se verá más adelante, es mediante el uso de derivados como *calls* o *puts*. De esta manera, un proyecto que solo permite al inversor colocar el capital al inicio y el rendimiento esperado se forma con leyes de la probabilidad, será poco atractivo en la medida que el flujo de caja descontado sea un relativamente cercano a la inversión inicial. Este concepto encierra el rendimiento de los fondos colocados y es interesante ver que la relación que guarda el rendimiento con el riesgo.

En esta relación se muestra la segunda ventaja derivada de la flexibilización. La misma es mejorar el criterio de decisión de los inversores. Al poseer un capital determinado para colocar en inversiones, un agente buscará maximizar el rendimiento en el tiempo, minimizando el riesgo. Posiblemente una decisión de portafolio contemple una frontera eficiente cuando se tengan varios activos financieros. En ese sentido diversificar el riesgo es esencial para optimizar la cartera. De manera que cualquier instrumento que otorgue mayor realismo y concordancia con la verdadera dinámica de las inversiones será deseable por el agente.

Los proyectos de I&D se parecen mucho a cualquier inversión financiera, desde acciones de empresas que cotizan en el mercado bursátil, hasta inversiones en inmuebles o cualquier bien duradero.

Por las condiciones descriptas los proyectos de I&D son tratables como cualquier proyecto de inversión tradicional. El desafío es considerar que las inversiones en innovación se desenvuelven en contextos de incertidumbre y bajo la presencia de riesgos asociados con las condiciones intrínsecas del programa de investigación y las condiciones de mercado en general.

Con lo expuesto en estos dos capítulos se puede introducir la teoría de las opciones reales. El capítulo siguiente tiene por objetivo mostrar cómo dicha teoría se incorpora al criterio del

VAN para realizar un tratamiento más adecuado de la incertidumbre, al tiempo que se permiten flexibilizar las inversiones.

### 3. OPCIONES REALES

En el contexto económico y financiero actual remarcar que existen riesgos asociados a condiciones aleatorias de incertidumbre se presenta como una obviedad. En el estudio de las finanzas corporativas y las decisiones de inversión este hecho no es menor y, sin embargo, muchas veces se estilizan modelos que no captan la verdadera naturaleza de la incertidumbre. La consideración de derivados financieros que capturen de manera más eficaz la volatilidad, traduciendo mayor beneficio para el inversor se formaliza en la década de 1970. El modelo más conocido para la valuación de opciones financieras deviene del trabajo de Fisher Black y Myron Scholes (1973). La novedad del uso de opciones reales es que se presentan como alternativas muy similares a la de entrar en un proyecto real. El hecho de comprar una opción financiera permite al inversor tomar decisiones que cambien el rumbo del proyecto, es decir, considerar modificaciones en las condiciones futuras. Entre las opciones más usuales se encuentran: el abandono si los resultados distan de lo proyectado –el rendimiento es muy bajo–, la expansión si los resultados son superiores a lo proyectado, esperar cuando no se tiene ninguna idea del futuro quizá permite considerar la inversión más adelante y la opción de suspender o contraer la actividad por un lapso para evitar flujos de caja negativos.

Con la incorporación de instrumentos financieros y el uso de las opciones para la valuación de proyectos de inversión se apunta a otorgar un carácter estratégico al inversor. En este contexto el agente no se presenta como un individuo pasivo que sólo puede tomar la decisión de colocar capitales en determinados proyectos (constituyendo un portafolio) sino que adopta un carácter activo y puede interferir en el desarrollo de la inversión para dinamizarla o evitar incurrir en pérdidas evitables. El esquema plantea la posibilidad de flexibilizar y con ello se puede optimizar el beneficio del inversor.

#### 3.1. **Opciones financieras: *call* y *put***

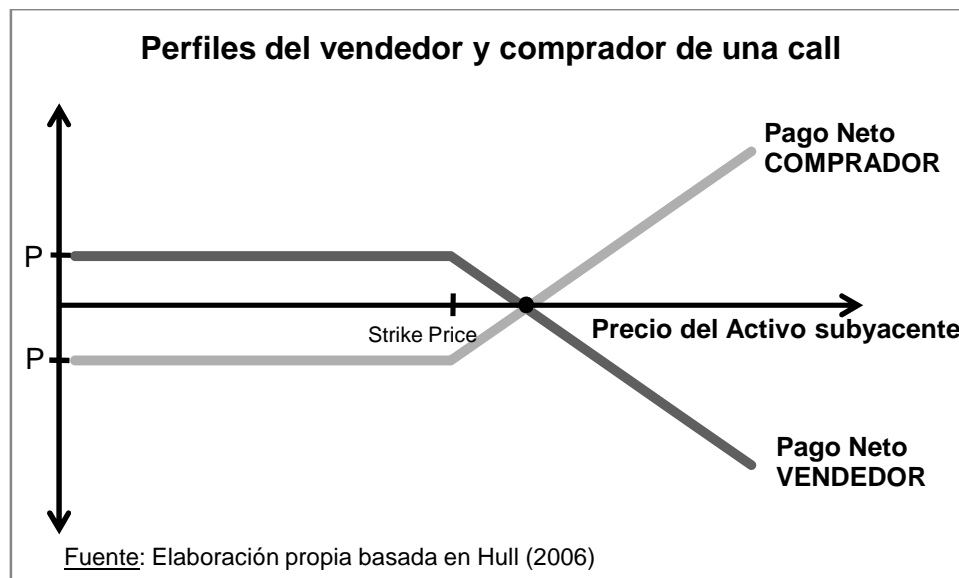
Una opción es un derecho a comprar o vender una cantidad determinada de un activo (llamado subyacente). Este activo puede ser un instrumento financiero (bonos, acciones, etc.) o cualquier activo físico. El precio al que se ejerce la opción se denomina precio de ejercicio (*strike price*) y la transacción se puede realizar en cualquier momento igual o

inferior a la fecha de vencimiento de la opción. Al ser un derecho y no una obligación, el agente puede optar por ejercer o dejar que expire y este hecho constituye una herramienta simple pero útil cuando se requiere administrar un riesgo asociado (Branch, 2003).

Existen dos tipos de opciones: la de compra (*call*) y la de venta (*put*). La opción de compra es un derecho que tiene el comprador de adquirir un activo subyacente al precio de ejercicio en un momento diferido en el tiempo. El comprador paga una prima para adquirir este derecho. La decisión de ejercer la opción dependerá del precio del activo subyacente. Si a la fecha de vencimiento del instrumento el precio del activo es menor al pactado, el comprador no ejercerá la opción. En el caso contrario, es decir, que el precio sea superior al comprador le será beneficioso adquirir el activo. La operatoria es simple, el tenedor de la opción adquiere el activo al precio *strike* y como éste es inferior al precio de mercado obtiene una ganancia bruta, idéntica a la diferencia. La ganancia neta será la diferencia entre la ganancia bruta y el precio pagado por la opción al momento de adquisición.

La operatoria descripta se puede representar gráficamente, como se muestra en el siguiente diagrama:

Diagrama 2: Opción de compra



En el gráfico se muestran las ganancias o pérdidas asociadas a la adquisición de una opción de compra. El eje de ordenadas es el que indica dichos resultados netos, producto de las variaciones del precio del activo subyacente. El eje de las abscisas contiene los distintos precios del activo.

Al momento de comprar una *call* se paga una prima que es el valor entre el origen y  $P$ . Este pago representa una pérdida neta que luego será o no compensada por el pago neto al

vencimiento del papel. Si el valor del activo es menor al *strike* el pago neto será negativo (pérdida) igual al valor de la prima. Si sucede lo contrario, es decir, que el precio del activo es superior al de ejercicio de la opción (la diferencia de ambos precios es el pago bruto) el pago neto será la diferencia entre el pago bruto y el precio de la prima, situación favorable para el inversor. La grafica que representa el pago neto del comprador –en gris suave– muestra las distintas alternativas según el precio del activo, tal como se describió. Para valores inferiores al precio *strike* la pérdida está marcada por la prima, mientras que cuanto más se aleje (aumente el precio del activo) de dicho valor la pérdida va disminuyendo hasta que el pago neto intercepte el eje del valor del activo donde no hay ganancias ni pérdidas. A partir de esa situación todo aumento del precio del activo representa una ganancia neta para el comprador de la opción *call*.

La gráfica en el diagrama 2 también representa –en gris fuerte– la situación del vendedor de una *call*. La descripción de la situación es análoga a la del comprador pero, naturalmente, contrapuesta. El vendedor tiene la obligación de vender el activo si el comprador ejerce la opción. Toda vez que el precio del activo no aumente demasiado, el vendedor ganará la prima. Si la situación es favorable al comprador y el mismo ejerce la opción, entonces el vendedor incurrirá en pérdidas. Lo que determina finalmente la situación de ambos es el mercado del activo subyacente y la racionalidad del comprador para ejercer la opción en el momento indicado<sup>8</sup>.

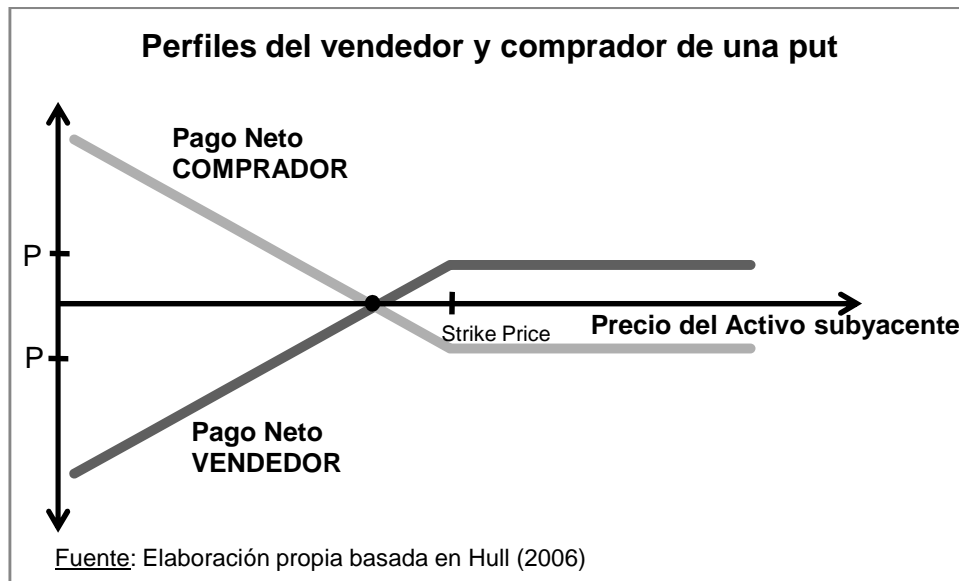
La opción de venta o *put* se compone de los mismos elementos que la opción de compra, por lo tanto, su tratamiento es análogo. Concede al comprador de la opción el derecho a vender una cierta cantidad de activos subyacentes a un precio previamente acordado (*strike price*). En concordancia con la explicación de la presente sección, el hecho de ejercer la opción dependerá de las condiciones del mercado del activo subyacente y los determinantes de la variación del precio. Una *put* tiene pago neto negativo si el valor del activo subyacente es mayor que el precio de ejercicio. El pago bruto (sin considerar la prima pagada) es la diferencia entre el precio de ejercicio de la opción y el valor del activo (Damodaran, 1999).

El diagrama 3 muestra el comportamiento de los perfiles del comprador y vendedor de una *put*. El comportamiento, como así también las variables expresadas en los ejes son similares a los descriptos para la opción de compra. Para no redundar en la explicación, lo importante a tener en cuenta es la relevancia de precio que fije el mercado en relación al bien subyacente que es lo que determinará el ingreso futuro del comprador de la opción y el beneficio o pérdida en la que incurrirán las partes.

---

<sup>8</sup> Existen dos tipos de opciones explicadas en la literatura tradicional: americana y europea. La diferencia entre ambas es que la primera –americana– puede ser ejercida en cualquier momento durante la vida del contrato, mientras que la europea solo al vencimiento del mismo.



Diagrama 3: Opción de venta

Si se toma en cuenta la situación del vendedor de la opción, a medida que el precio del activo subyacente descienda, las ganancias del vendedor también descenderán. Este hecho se sucede hasta el punto en el que convergen la recta que representa el pago neto con la del precio del bien (abscisas). En el punto donde se igualan las rectas las ganancias son cero, y partir de allí mientras más bajo sea el precio del subyacente respecto del *strike*, mayor será la pérdida para el vendedor. Con esta descripción se pueden conjeturar las condiciones para el comprador ante eventuales distorsiones en los precios especificados. Esencialmente las opciones actúan como seguros, dado que se comportan como coberturas para el tenedor frente a variaciones en el precio de los activos que son objeto de las transacciones.

### 3.2. Variables relevantes de las opciones financieras en proyectos I&D

Luego de haber realizado un análisis simple de dos derivados financieros clásicos es necesario encontrar el correlato de dichos conceptos teóricos con los proyectos en Investigación y Desarrollo. Como se abordó en el capítulo dos, los proyectos de I&D tienen características que lo distinguen de proyectos tradicionales. La característica relevante en este sentido es la dificultad de valorar un activo subyacente. Cuando se trata de innovación tecnológica, el trabajo de campo de los investigadores, diseñadores, ingenieros y todo aquel que realice tareas productivas no garantiza el éxito del proyecto. Si la dinámica investigativa no arroja resultados tangibles (y valiosos, novedosos) el proyecto no culminará con ningún

activo. En este esquema atraer a inversores privados ofreciendo una opción *call* requiere un tratamiento particular de la incertidumbre y el riesgo asociado al escenario planteado.

Aswath Damodaran (1999) reconoce algunas variables relevantes que inciden directamente en la valoración del activo subyacente. Para el caso de I&D se supone que el trabajo de investigación arrojará un valor agregado mayor al inicial y por lo tanto el activo tendrá valoración sea o no tangible. Entre las variables reconoce: el valor actual del activo subyacente, la varianza en el valor, precio de ejercicio de la opción, tiempo de duración y tasa de interés libre de riesgo correspondiente al período de vigencia del contrato.

El valor actual del subyacente es importante dado que la variación del mismo impacta en la decisión de ejercer la opción y, por lo tanto, el impacto es asimétrico. Un aumento en el valor del bien incrementa el valor de la *call*, dado que la misma ejerce la opción de compra. No así con la *put* que se vuelve menos valiosa ante dicho suceso.

La varianza en el valor del activo refleja la dispersión en el comportamiento de la variable descripta en el párrafo anterior. Pero el impacto deja de ser asimétrico, dado que cuanto mayor sea la varianza en el valor del subyacente, más valoradas son las opciones de compra y venta. La varianza es una medida de riesgo y la aseveración anterior es correcta dado que las opciones no se comportan como cualquier instrumento financiero. El comprador de una *call* o una *put* no pierde más que el precio pagado por la opción, con la posibilidad de ganar más cuanto más sea la dispersión del precio o valor del activo en cuestión. La determinación de la varianza será importante en los métodos de valuación que se exponen más adelante.

El precio de ejercicio también es importante porque determina las condiciones al momento del vencimiento de la opción. Nuevamente el impacto es distinto en las opciones de compra y venta. En las primeras, un aumento del precio de ejercicio hace disminuir el valor de la opción, puesto que el comprador fija el precio al momento de adquirir el instrumento. Para el caso de las opciones de venta, como son colocaciones del subyacente el valor del instrumento se incrementará mientras el precio *strike* se incremente.

Respecto del tiempo de duración es necesario hacer una aclaración. Hasta el momento no se consideró que adoptara un rol importante, principalmente porque el objetivo de financiar innovaciones tiene criterios temporales adaptados al objetivo de la investigación. No se puede prescindir de este hecho concreto. Sin embargo, en la literatura se muestra que el valor de las opciones aumenta conforme se extiende el plazo de expiración o vencimiento de las mismas. Este hecho responde a que cuanto mayor sea el lapso, mayor son las posibilidades de que fluctúe el precio del subyacente. Al igual que en el caso de la varianza, la duración es favorable a ambos tipos de instrumentos.

La última variable de análisis corresponde a la tasa libre de riesgo correspondiente al período de duración de la opción. La incorporación de la tasa libre de riesgo responde al

tratamiento del costo de oportunidad de la inversión. Cuando se determina el valor actual del precio de ejercicio es calculado se tiene que tener en cuenta dicha tasa. La razón es que el precio no es pagado hasta el vencimiento de la opción y dependerá de la tasa de interés y el período de vida del instrumento. Cuando la tasa aumenta el efecto es inverso en las opciones: afecta positivamente al valor de la opción de compra y negativamente a la de venta.

El cuadro 1 resume los efectos analizados:

VARIABLE RELEVANTE	Opciones	
	CALL	PUT
Aumento en el valor del activo subyacente	Aumenta	Disminuye
Aumento de la varianza	Aumenta	Aumenta
Aumento del <i>strike price</i>	Disminuye	Aumenta
Aumento del tiempo de duración	Aumenta	Aumenta
Aumento de la tasa libre de interés	Aumenta	Disminuye

Fuente: Damodaran (1999).

### 3.3. Métodos de valuación de opciones: Fórmula de Black & Scholes

La evolución histórica del pensamiento científico en torno a la valuación de opciones financieras tiene su origen en trabajos de Samuelson (1965).

En el análisis de opciones financieras existen múltiples metodologías y aproximaciones usadas para calcular el valor de una opción. Sin embargo, los métodos más usuales para la valorización de opciones son: el modelo desarrollado por Fischer Black y Myron Scholes (1973), complementado por Robert Merton (1973) (Modelo de Black & Scholes) y el modelo binomial presentado un año después por Cox, Ross y Rubstain (Branch, 2003). Ambos métodos se basan en criterios muy simples que se derivan de la utilización de portafolios equivalentes y en los principios de comportamiento de los modelos de arbitraje. El modelo de Black & Scholes se basa en técnicas matemáticas de cálculo estocástico, donde existe ecuaciones que pueden ser resueltas dado un conjunto de supuestos, este método es exacto rápido y de fácil implementación, pero son muy específicos y con limitada flexibilidad. El método binomial, en contraste, tiene una gran flexibilidad, es de fácil implementación y se basa en matemáticas muy simples. Sin embargo, se requiere de cierto poder computacional y tiempo entre pasos para obtener buenas aproximaciones. La representación de los resultados se lleva a cabo mediante "árboles" donde se expresan los resultados en cada

rama, sub-rama, etc. Es importante señalar que en el límite los resultados obtenidos mediante el uso de árboles binomiales tienden a aproximarse a aquellos derivados por el método Black & Scholes, y por ello se recomienda que ambas aproximaciones sean usadas para verificar los resultados (Mun, 2003).

También existen otros dos métodos: simulación de Monte Carlo y modelo de diferencias finitas. El primero es un trabajo que realizaron en 1977 por Poyle y consiste en simular distintos escenarios asignándoles probabilidades. Se logran probar diferentes trayectos de evolución del activo subyacente. El trabajo matemático deviene del uso de aproximaciones estadísticas y la principal virtud es la de agotar todas las distintas configuraciones posibles de los eventos razonables de una situación. El modelo de diferencias finitas también fue propuesto en el mismo año por Brennan y Schwartz y consiste en la resolución de una ecuación diferencial asociada al problema en cuestión. Dicha resolución implica tener un manejo más profundo de iteraciones y resolver distintos sistemas de ecuaciones diferenciales que se desprenden del caso. Este método puede ser particularmente útil para la confección de problemas de optimización intertemporal. La teoría del Control Óptimo es la formalización teórica más cercana y puede incorporar variables aleatorias, dándole el carácter estocástico deseado.

Como se analiza a continuación, la valuación de opciones reales en el presente trabajo es suficiente con el método de Black & Scholes, dado que los proyectos en I&D se asemejan a opciones de compra (por simplicidad). Los supuestos del modelo son similares a los implementados en árboles binomiales y permiten construir la fórmula para aplicar el método. Se enumeran a continuación:

- ✓ *Mercado financiero perfecto*: Los inversionistas pueden prestar y pedir prestado a la misma tasa de interés con información completa y perfecta. La tasa de interés es constante en el período considerado y sabida por la totalidad de agentes.
- ✓ *Inexistencia de costos operativos*: No operan comisiones ni costos de transacción.
- ✓ *Ausencia de esquema impositivo*: Si existen impuestos, afectan a todos los inversionistas por igual.
- ✓ *Inexistencia de dividendos*: el subyacente no rinde ningún pago en el período considerado.
- ✓ *Opción de tipo europea*: Sólo puede ejercerse al vencimiento.
- ✓ *"Ventas al descubierto"*: Es posible vender el activo subyacente sin tener posesión del mismo.
- ✓ *Negociación en los mercados de forma continua*
- ✓ *Recorrido aleatorio del precio del subyacente*: El activo ( $S$ ) tiene un precio con recorrido aleatorio con varianza  $\sigma^2$  proporcional al cuadrado de dicho precio.

- ✓ *Distribución de probabilidades del precio del subyacente:* Es del tipo Log-Normal y la varianza de la rentabilidad es constante.

El modelo demuestra que el valor teórico de una opción *call* de tipo europea está determinado por la siguiente fórmula:

$$C = S * N(d_1) - X * e^{-rt} * N(d_2)$$

Dónde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right) * t}{\sigma * \sqrt{t}}$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right) * t}{\sigma * \sqrt{t}} = d_1 - \sigma * \sqrt{t}$$

Las variables representan las características sobresalientes descritas en este capítulo. El precio de la opción de compra ( $C$ ) está determinado por el precio del activo subyacente ( $S$ ) multiplicado por una función de probabilidad acumulada para una variable normal estandarizada  $\{N(d_1)\}$ . Al resultado se le resta el producto entre el *strike price* ( $X$ ) -afectado por una tasa de descuento ( $e^{-rt}$ ) con  $r$  como la tasa de interés libre de riesgo- y otra función de probabilidad  $\{N(d_2)\}$ . Ambas funciones de distribución dependen de la volatilidad del valor del subyacente ( $\sigma$ ). La variable  $t$  representa la duración de la opción, siendo la diferencia entre el momento al vencimiento y el momento de adquisición<sup>9</sup>.

De la misma manera se puede exponer la fórmula para obtener el valor teórico de una opción de venta o *put*:

$$P = X * e^{-rt} * N(-d_2) - S * N(-d_1)$$

En las dos secciones siguientes se muestran los alcances teóricos de las opciones reales de esperar, abandonar, expandir y suspender en la valuación de inversiones para captar de manera más eficiente las problemáticas que se vienen describiendo.

<sup>9</sup> Se puede interpretar como  $t = (T - \tau)$  siendo  $T$  el momento de vencimiento y la variable  $\tau$  el momento de adquisición o cualquier otro posterior. Por ejemplo, si la *call* es a 6 meses  $T = 6$  y  $\tau = 0$  en el momento inicial, pero si consideramos dos períodos después  $\tau = 2$ , por lo que  $t$  representa una duración de 4 meses.

### 3.4. Opciones Reales: Espera y Abandono

Se puede decir que el método de las opciones reales amplía el modelo de valoración de opciones financieras para incorporar tanto los efectos del riesgo de mercado como los efectos del riesgo privado en las oportunidades de inversión estratégicas. Este método es la extensión de la teoría de las opciones financieras a las opciones sobre activos reales (Trigeorgis, 1993; Copeland & Antikarov, 2001). ¿Cómo se incorporan al análisis basado en técnicas tradicionales?

Cómo se anticipó en la sección anterior se puede considerar un proyecto de inversión como una opción de compra, dónde se ejerce el derecho –pero no la obligación- de invertir en un determinado negocio. Es decir, se puede considerar analíticamente el instrumento citado como criterio de decisión para el inversor. En otros casos, simplemente se utilizan opciones *call* para llevar a cabo la financiación del proyecto. Para construir la opción es necesario establecer la analogía entre las características del proyecto y las variables que determinan el valor de una opción *call* simple en un intercambio de acciones. Aunque la opción que se utilice para modelizar una situación de negocios no sea sustituto perfecto de la oportunidad real, sirve de base para el analista. Se utilizan opciones de tipo europeas, dado que sólo se ejercen al vencimiento y si se consideran las opciones americanas el nivel de análisis tiene que ser superior dadas las distintas posibilidades de ejercer la opción durante la vida del proyecto.

La opción de esperar es también conocida como opción de diferir. Se presentó en el apartado 2.4 mediante un ejemplo interesante. Considerar esta opción implica reducir la incertidumbre, tras observar lo que sucede en momentos posteriores al inicio del proyecto. Se afecta al VAN tradicional incorporando un costo de esperar y haciendo posible la entrada en el esquema de negocios en otro instante del tiempo distinto del momento inicial. Ya no es necesario invertir “hoy o nunca”. El valor de la opción se puede calcular con la fórmula de Black & Scholes. En proyectos de I&D puede ser importante para reducir el riesgo asociado a la innovación tecnológica al mismo tiempo que se reduce el impacto sobre la irreversibilidad. El criterio se define desde la simplicidad del VAN de la opción como argumento restando sobre el VAN asociado al criterio tradicional. En el ejemplo desarrollado se traduce en la siguiente expresión<sup>10</sup>:

$$VAN^h - VAN = q * \left[ \frac{-I}{1+r} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{P_t^h}{(1+r)^t} \right] - \left[ -I + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{E(P_t)}{(1+r)^t} \right]$$

<sup>10</sup> En la expresión se muestra el costo de la opción. Es importante considerar que el inversor estará interesado en buscar el valor del VAN total. El mismo surge de despejar:

$$VAN_{total} = VAN + \text{valor de la opción}.$$

Donde las variables representaban la opción de esperar un período para invertir en un proyecto caracterizado por la probabilidad de que aumente o caiga el precio del producto. De esta manera, la brecha expresada en esa función identifica el costo de flexibilizar la decisión de inversión. Las variables que intervienen son similares a las necesarias para construir una opción de compra, con lo cual se puede emitir para aquellos inversores que consideren deseable la opción de esperar y reducir la volatilidad, diversificando el riesgo. Este hecho es muy importante en proyectos de I&D, dado que es una estrategia válida para obtener señales de cómo se comporta el mercado o cómo evoluciona el proyecto de innovación.

La opción de abandono es una opción de venta o *put*. Es el derecho de deshacerse de un proyecto y recobrar un determinado valor, cuando las expectativas de mercado no se cumplen. En esencia una opción de venta es la barrera en contra de una situación adversa. La venta de un proyecto compensa de las pérdidas y permite invertir en nuevos proyectos o en opciones reales más valiosas (Branch, 2003). Otorga una herramienta muy valiosa para el inversor, a la vez que impacta sobre la irreversibilidad. El problema de la inmovilización de capitales -y posibles pérdidas por este motivo- se mejora con la implementación de esta opción. El criterio del VAN tradicional es restrictivo cuando la inversión inicial es muy grande respecto del rendimiento esperado. En proyectos de I&D ésta es una característica sobresaliente. El valor total de un proyecto debe considerar su valor de abandono, el cual generalmente no se conoce en el momento de su evaluación inicial, sino que depende de su evolución en el futuro. Existen dos cuestiones importantes a considerar en el análisis del valor de abandono: tomar en cuenta la opción en la valuación y determinar cuándo ejercer la opción, dependiendo del momento en el que la opción adquiere su valor máximo. Cuando el valor presente del proyecto disminuye por debajo del valor de liquidación, el acto de abandonar o de vender el proyecto es equivalente al ejercicio de la opción de venta, toda vez que el valor de liquidación del proyecto fija un límite inferior al valor de éste y el ejercicio de la opción es conveniente. Por consiguiente, un proyecto que toma en cuenta esta opción vale más que el mismo proyecto sin la posibilidad de abandono. En general, un proyecto debería ser abandonado en los casos en que el valor de abandono exceda el valor del flujo de caja descontado. Es importante aseverar que se debe tener en cuenta que puede existir un momento óptimo para ejercer la opción. Por lo tanto, se debe entender en forma separada a la opción de esperar. Un ejemplo que ilustra bien el caso de las inversiones en I&D es la consideración del mercado farmacéutico. El mismo posee las características propias del desarrollo de conocimiento mediante usos de laboratorio (experimental). En lo respecta a la organización industrial, el incentivo privado está asociado a la posibilidad de crear una droga nueva o mejorada y con ello obtener una patente de exclusividad para la

explotación comercial. Debido a la incertidumbre que existe en el mercado y que las pruebas que tienen que realizarse pueden ser exitosas o fracasar, se puede decidir crear una opción de abandono estratégica. La misma debe permitir revisar el progreso de la investigación, y decidir si conviene continuarla o darla por terminada. Si el proceso de investigación concluye con éxito la empresa podría vender la patente, o bien explotarla comercialmente. El período de tiempo contemplado para desarrollar el medicamento es de una determinada cantidad de años, dentro de los cuales la opción de abandono puede ser ejercida según el criterio del inversor u organismo que se encargue de las decisiones dentro de la firma.

En la sección que sigue se presentan otras opciones interesantes para el caso de proyectos de innovación.

### **3.5. Expandir y contraer**

Para finalizar con la exposición sobre la teoría de opciones reales, es importante presentar una dupla de opciones que hace alusión al cambio de escala. Este concepto económico es relevante en el análisis tanto micro como macroeconómico. Siguiendo la idea presentada a lo largo del trabajo, las empresas tienen como objetivo maximizar sus ganancias y puede resultar necesario atraer a inversores para financiar ciertos proyectos. Teniendo en cuenta los problemas tratados a lo largo del trabajo, en lo que sigue se ve cómo el uso de opciones reales mejora el criterio de decisión.

Con lo antedicho, la opción de cambio de escala es la flexibilidad que tiene la empresa de alterar su capacidad en respuesta a cambios en las condiciones de mercado. Esto puede conducir a que un proyecto sea redimensionado (expandido o contraído). La opción de expansión se da como respuesta a condiciones favorables de mercado, la empresa puede ampliar la escala de producción o acelerar la utilización de los recursos disponibles, en el caso de trabajar por debajo de la plena capacidad instalada. La alternativa de expandir es equivalente a una opción *call*. Para un determinado proyecto se puede tener la alternativa de construir una planta con capacidad en exceso respecto del nivel esperado de demanda y, de esa forma, poder producir a un mayor ritmo, en el caso que la demanda exceda las expectativas iniciales. Por el contrario, si las condiciones de mercado resultan menos favorables que lo inicialmente esperado, la empresa puede bajar su nivel de operación. Esta alternativa es análoga a una opción de venta. Esta opción representa una contracción.

Se pueden comparar las opciones de cambio de escala con las opciones de esperar y abandonar presentadas en la sección anterior. En las mismas se trataba a la decisión de inversión como un derivado financiero. En estos casos opera el mismo mecanismo financiero, aunque la decisión no sea diferir, el hecho de expandir la escala se puede



asimilar a esperar para colocar más capital en una actividad, mediante una opción de compra. Y el hecho de contraer es similar al de abandonar, dado que se retira una parte o todo (respectivamente) el capital afectado, mediante una opción de venta. La única consideración relevante es que no es necesario valerse de opciones tipo europeas para el cambio de escala, dado que al afectar al proyecto en un momento determinado se puede hacer uso de opciones americanas para ejercer en cualquier momento, sin la obligación de hacerlo a la fecha de expiración de la opción.

## **CONCLUSIONES**

A lo largo del presente trabajo se expusieron las principales cuestiones relacionadas con el objetivo a estudiar: analizar las ventajas de la implementación de opciones reales para la valuación de proyectos de inversión en innovación. La hipótesis que se contrastó exponía las limitaciones de los criterios tradicionales de valuación (VAN, TIR, entre otros) para captar la naturaleza de la irreversibilidad en contextos de incertidumbre, donde es deseable flexibilizar una inversión.

Para ello se expusieron en el primer capítulo las principales características de las empresas en su rol de inversor, persiguiendo un objetivo económico y financiero. Se trató sobre el objetivo de estudiar los criterios de decisión tradicionales mostrando las ventajas y debilidades teóricas en cada caso. Es importante esta determinación porque conforman la herramienta principal para el análisis del inversor sobre la colocación de capitales. La primera aproximación fue que en los criterios mencionados era necesaria la determinación del flujo de ingresos futuros y la posibilidad de descontarlos con una tasa. Este hecho en la realidad puede no presentarse fácilmente, lo que genera confusión y desaliento en el inversor.

La actitud estratégica del inversor es considerado en el capítulo dos, dónde se mostraron las principales características de las inversiones en I&D. Las principales conclusiones que se pueden extraer devienen de la importancia de la innovación sustentable para las empresas hacia adentro y las motivaciones de agentes externos para invertir capital en contextos de incertidumbre. Se puso especial énfasis en los diversos impactos medioambientales, sociales y económicos. Estos conceptos no se encuentran en la literatura microeconómica tradicional. De esta manera se mostró que considerar ciertas opciones puede mejorar el criterio del VAN, captando de alguna manera la incertidumbre y la imposibilidad de retirar los fondos colocados. Se discute hacia el final del capítulo la posibilidad de tratar a los proyectos de I&D en el mercado financiero. Se llega a la conclusión que se pueden tratar como inversiones, pero trabajando sobre la flexibilidad. Por doble determinación –la

importancia de procesos de investigación y mejorar los criterios- se hace uso de la teoría de opciones reales.

En el último capítulo se expresan las principales concepciones teóricas del uso de opciones reales. Es importante destacar que las mismas no sustituyen al criterio del VAN sino que mejoran su valoración. Para expresar su significado se expusieron los principales derivados financieros que están involucrados: las opciones de compra y venta. Por las características de las mismas son semejantes a un proyecto de inversión. Al llevar a cabo esa estrategia se puede flexibilizar una inversión haciendo uso de una *call* o una *put*. Esta importante conclusión permite realizar un tratamiento mejor sobre la incertidumbre con las opciones de esperar, abandonar, expandir y contraer. Esperar (*call*) para observar el futuro cercano y reducir la incertidumbre; abandonar (*put*) cuando los resultados no son los proyectados; expandir (*call*) en momentos de euforia económica o financiera; contraer (*put*) cuando las condiciones de mercado son poco favorables o se desea enfriar la actividad. Dado que se utilizan los mencionados derivados del tipo europeos, no resulta necesario desarrollar distintos métodos de valuación. Simplemente se puede aplicar la fórmula de Black & Scholes. La misma permite resolver ecuaciones sencillas y los resultados son compactos, aunque posee ciertas limitaciones por los supuestos del modelo.

Por lo expuesto, el inversor puede adquirir una herramienta útil que mejora sus decisiones de inversión. Se pueden generar nuevas estrategias de negocio y una nueva visión para idear proyectos.

En futuras investigaciones sería interesante trabajar sobre la optimización intertemporal estocástica, a la que se hizo alusión en la sección 2.3. Asimismo creo necesario que se desarrolle esta metodología para el estudio de la composición de una cartera eficiente con proyectos de innovación específicos.

## BIBLIOGRAFIA

- Aghion P. and Griffith R. (2005), *Competition and Growth*, USA: The MIT Press.
- Beck U. (1992), *Risk Society: Towards a New Modernity*, Sage.
- Black F. and Scholes M. (1973), 'The pricing of options and corporate liabilities', *The Journal of Political Economy*, vol. 81, no. 3, pp. 637-54.
- Branch M.A. (2003), *Real Options in practice*. USA: Wiley Finance Series
- Brealey R.A., Myers S.C. and Allen F. (2005), *Principles of Corporate Finance*, 8ª edición, McGraw-Hill/Irwin.
- Boer F.P. (2000), 'Valuation of technology using" real options"', *Research-Technology Management*, vol. 43, no. 4, pp. 26-30.
- Carriere J. (1996), 'Valuation of the early-exercise price for options using simulations and nonparametric regression', *Insurance: mathematics and Economics*, vol. 19, no. 1, pp. 19-30.
- Clément E., Lamberton D. and Protter P. (2002), 'An analysis of the Longstaff-Schwartz algorithm for American option pricing', *Finance and Stochastics*, vol. 6, no. 4, p. 449—71.
- Copeland E.T. and Antikarov V. (2001), *Real Options: A practitioner's guide*. USA: Texere Publishing
- Copeland E.T. and Keenan T.P. (1998), *Making real options real*. USA: The McKinsey Quarterly, No 3, pp. 128-141.
- Damodaran A. (1999), *The promise and Peril of Real Options*. USA: Stern School of Business.
- Dixit A.K. (1989), 'Entry and exit decisions under uncertainty', *The Journal of Political Economy*, vol. 97, no. 3, pp. 620-38.
- Dixit A.K. and Pindyck R.S. (1994), *Investment under uncertainty*, vol. 15, Princeton University Press Princeton, NJ.
- Dosi G., R. R. Nelson, and S. Winter, eds. (2000): *The nature and dynamics of organizational capabilities*, Oxford University Press: Oxford.

- Gereffi G., Humphrey J. and Sturgeon T. (2005), 'The Governance of GVC'. *Review of International Political Economy*, 12:1 78-104.
- Glasserman P. (2004), *Monte Carlo methods in financial engineering*, Springer Verlag.
- Huisman K.J.M., Kort P.M. and Center for Economic Research at, A (1999), *Effects of strategic interactions on the option value of waiting*, Center for Economic Research, Tilburg University.
- Hull J. (2006), *Options, Futures. and Other Derivative Securities (6e)*, New York: Prentice-Hall. Englewood Clis.
- Ingersoll J.E. and Ross S.A. (1992), 'Waiting to invest: Investment and uncertainty', *The Journal of Business*, vol. 65, no. 1, pp. 1-29.
- Kodukula P. and Papudesu C. (2006), *Project Valuation using Real Options A practitioner's Guide*, J. Ross Publishing.
- Kumaraswamy A. (1996), 'A real options perspective of firms' R&D investments', *Unpublished doctoral dissertation, New York University*.
- Lin X.S. (2006), *Introductory stochastic analysis for finance and insurance*, vol. 557, Wiley-Interscience.
- Longstaff F. and Schwartz E. (2001), 'Valuing American options by simulation: A simple least-squares approach', *Review of Financial Studies*, vol. 14, no. 1, p. 113.
- Majd S. and Pindyck R.S. (1987), 'Time to build, option value, and investment decisions', *Journal of Financial Economics*, vol. 18, no. 1, pp. 7-27.
- McDonald R. and Siegel D. (1986), 'The value of waiting to invest', *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 101, no. 4, pp. 707-27.
- Mun J. (2003), *Real options analysis course: business cases and software applications*, Wiley.
- OECD (2002), *Frascati manual 2002: the measurement of scientific and technological activities: proposed standard practice for surveys on research and experimental development*, Paris, Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Pindyck R.S. (1988), 'Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm', *The American Economic Review*.

- Roberts K. and Weitzman M.L. (1981), 'Funding criteria for research, development, and exploration projects', *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 1261-88.
- Sturgeon T., Van Biesebroeck J. and Gereffi G. (2008). 'Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry'. *Journal of Economic Geography* 8 pp. 297-321.
- Trigeorgis L. (1993), 'Real options and interactions with financial flexibility', *Financial Management*, vol. 22, no. 3, pp. 202-24.
- Wiek A., Zemp S., Siegrist M. and Walter A.I. (2007), 'Sustainable governance of emerging technologies—Critical constellations in the agent network of nanotechnology', *Technology in Society*, vol. 29, no. 4, pp. 388-406.
- Wu G. (2009), 'Uncertainty, Investment and Capital Accumulation: What Do We Know and What Do We Not Know', in Thesis doctoral, Nuffield College, Oxford.